

黄土高原南部における大気境界層～自由大気間の水蒸気交換量の日々変化 —大気境界層・対流雲・総観気象場の相互作用に着目して—

高橋厚裕¹・檜山哲哉²・樋口篤志³・西川将典⁴・李薇⁴・福嶋義宏¹

1：総合地球環境学研究所

2：名古屋大学・地球水循環研究センター

3：千葉大学・環境リモートセンシング研究センター

4：名古屋大学・大学院環境学研究科

1. はじめに

半乾燥域に属する黄土高原南部では天水農業が行なわれており、台地上に小麦やリンゴ、トウモロコシ等の耕地が広くランダムに分布している。独特の「谷—台地」状の地形に不均一な地表被覆という条件下における蒸発散量、水蒸気鉛直輸送の日変化、季節変化、年々変化を明らかにするために、我々は2004年6月から大気境界層の長期連続観測を行っている。

これまでの観測により、西川ら(2005)は、夏季の黄土高原南部では、晴天で午後に風速が弱いときに混合層が急速に発達することがあり、その高さは高度3km程度にもなり、その内部では最大6.4 m/sの強い鉛直流が発達することを報告している。西川ら(2005)は、このような混合層発達について、黄土高原では夏季に熱的低気圧が発達するために上昇流場となり、この条件のもとで地表面から大気へ強い顕熱供給があるとプルームが発達するために混合層が急発達すると結論している。

本研究では、このように強い鉛直流の発達がしばしば観測される夏季の黄土高原南部において、鉛直的な水蒸気交換の日変化について調べるとともに、積雲対流との関係について考察を行なった。

2. 観測地と方法

観測場所は中国科学院・長武黄土高原農業生態試験所の小麦圃場(35.24°N, 107.68°E, 標高1224 m)である。圃場内では冬小麦の栽培が行なわれており、毎年9月に種がまかれ、翌年の6月に収穫が行なわれる。また同圃場内の一部ではトウモロコシの栽培が行なわれ、9月下旬に収穫される。また圃場の北側はリンゴ畑になっており、東側部分には建物が並んでいる。圃場内には高さ32 mの接地境界層観測タワーが設置され、2004年6月から微気象観測を行うとともに、2005年5月にマイクロ波放射計(TP/WVP-3000, Radiometrics Co, USA)を設置し、高度10 kmまでの鉛直1次元の水蒸気量と気温の連続観測を行っている。32 mタワーには32 m、12 m、2 mの3高度に超音波風速計(R3, Gill Instruments Limited, UK)とopen-path型赤外線式H₂O/CO₂ガス変動計(LI-7500, Li-Cor Co., USA)が設置されており、風速3成分と気温、水蒸気量、CO₂濃度を測定し、顕熱、潜熱、CO₂の各フラックスを取得している。

2005年5月11日～7月13日と2006年5月15日～7月10日の期間に、現地において集中観測を行い、現地時刻の8時から18時の間の正午を除く毎正時に、雲量と10種雲形による雲タイプの観測を行った。

3. 結果と考察

マイクロ波放射計により測定された大気水蒸気量と接地境界層観測により得られた顕熱・潜熱フラックス、降水量、土壌水分量の季節変化を図1に示す。2005年の7月中旬から2006年4月上旬までは、マイクロ波放射計の電源部の故障により、大気水蒸気量は欠測となっている。高度

10 km までの大気水蒸気量は、夏季に 2~5 cm で、冬季には 1~2 cm であった。顕熱フラックスと潜熱フラックスは高度 32 m で測定されたものであるが、一部の期間において高度 32 m 部の測器が故障のために、その期間は高度 2 m で測定された潜熱（水色）を示した。図 2 は 2005 年と 2006 年の集中観測期間における大気水蒸気量（高度 10 km までの総量と、高度 2 km 以下での大気水蒸気量）、顕熱・潜熱フラックス、降水量、土壌水分量（深度 10cm と 20 cm）、日中の雲量・雲タイプの時系列である。図 2 からわかるように、2005 年と 2006 年のいずれの年も、6 月以降 7 月中旬までの夏季に、積雲・雄大積雲が頻繁に観測された。図 3 の左図には積雲・雄大積雲が発達していた期間における大気水蒸気量と雲量・雲タイプの日々変化を示す。雄大積雲は日中の午後に頻繁に観測された。このように積雲が発達し雄大積雲も観測された場合には、高度 2 km 以下の大気で日中に大気水蒸気量は減少し、それとは逆に、高度 2 km 以上では増加するという明瞭な日変化が観測された。図 4 には積雲が発達した 2005 年 6 月 19 日の 8 時、12 時、16 時における温位と絶対湿度の鉛直分布を示す。図 4 に示したように、8 時における絶対湿度は地表面近傍で高く、上層ほど低い分布であるが、その後、高度約 1.5 km 以下では絶対湿度が減少しつつ、その上層では逆に時間とともに増加した。16 時においては、高度 0.8 km 付近で極小、高度 2.5 km 付近で極大を示している。このことは、積雲発達時には大気下層から大気上層へ水蒸気が輸送されていることを示唆している。これに対し、図 3 の右図には、積雲・雄大積雲が発達しなかった場合の大気水蒸気量と雲量・雲タイプの日々変化を示す。このうち 6 月 7 日は快晴であった。図 3 に示したように、積雲が発達していなかった場合には、積雲発達時に見られたような日中の大気水蒸気量の日変化は観測されなかった。

このように、観測された大気水蒸気の日変化は、積雲の発達と関係があることが示唆された。つまり、雄大積雲が発達した場合には、積雲対流により鉛直方向の水蒸気輸送が強められ、水蒸気量の多い下層大気と少ない上層大気が混合され、大気水蒸気量の鉛直分布に顕著な日変化が生じたものと考えられた。大気水蒸気量の日変化に関連して、局地循環によると考えられる可降水量の日変化については、チベット高原の谷状地形 (Takagi et al., 2000) や、スマトラ島の山地 (Wu et al., 2003)、タイの沿岸部 (Fujita et al., 2006) などでは報告されているが、鉛直方向の輸送による高さ別の大気水蒸気量の日変化についての報告例はほとんど無く、本研究結果の意義は高い。

4. まとめ

夏季の黄土高原南部では、雄大積雲が発達した日に、高度 2km 以下の大気下層で大気水蒸気量が減少し、高度 2km 以上の大気上層で大気水蒸気量が増加する現象が観測された。これは、大気境界層が日中に発達することに加えて、積雲対流により、大気下層の湿度の高い空気が湿度の低い上層大気と混合されたことにより生じたものと考えられた。積雲対流が生じることにより、大気境界層から自由大気への水蒸気供給が活発になることが示唆された。可降水量を用いた従来の研究では、局地循環により数百 km スケールでの大気水蒸気量の日変化が起こることが、様々な場所で報告されている。しかしながら、本研究で示したように、大気境界層と自由大気間における水蒸気交換を高い時間分解能で示した研究例はほとんど無い。

このような積雲対流とそれに伴う大気水蒸気の鉛直輸送のメカニズムについて、今後は雲解像モデルを利用して明らかにしていく必要がある。また、こうした大気水蒸気の輸送が総観気象場とどのように関係し、黄河中流域の水循環変動にどの程度影響しているのかを定量的に調べる必要がある。

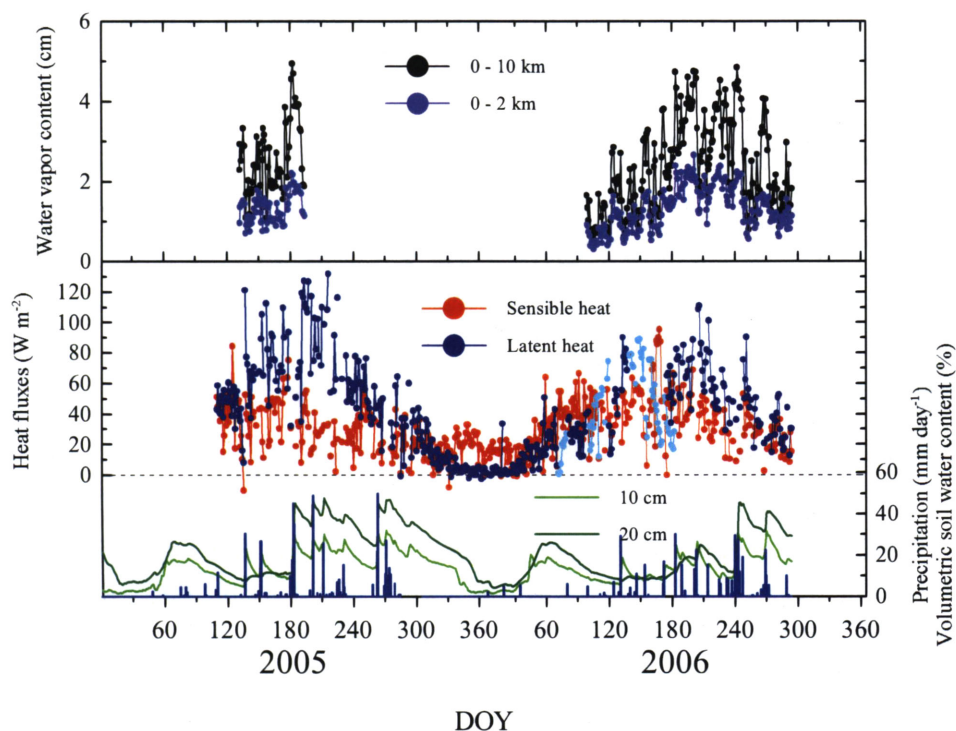


図1. 大気水蒸気量（上段、黒：高度 0-10 km、青：高度 0-2 km）、顕熱・潜熱フラックス（中段、赤：高度 32 m における顕熱、青：高度 32 m における潜熱、水色：高度 2 m における潜熱）、降水量（下段、棒グラフ）、土壌水分量（下段、黄緑：深度 10 cm、緑：深度 20 cm）の季節変化（日平均値）。

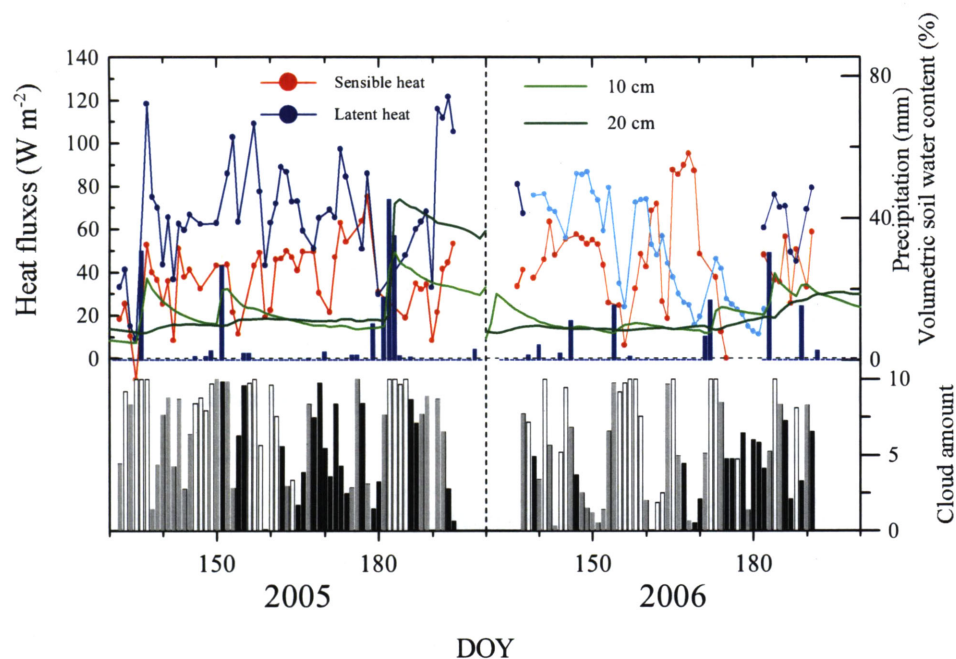


図2. 集中観測時における顕熱・潜熱フラックス（上段、赤：顕熱、青：潜熱）、降水量（上段、棒グラフ）、土壌水分量（上段、黄緑：深度 10 cm、緑：深度 20 cm）、雲量・雲タイプ（下段の棒グラフ、白：積雲なし、灰色：積雲あり、黒：雄大積雲あり）の時系列（日平均値）。

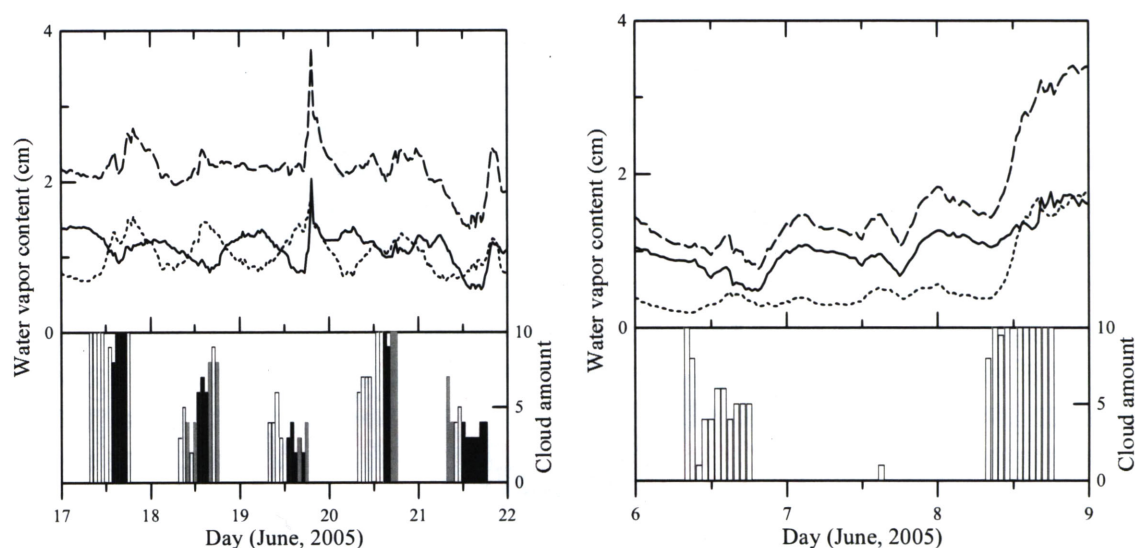


図 3. 大気水蒸気量の日変化。左図：積雲が発達しているとき。右図：積雲がないとき。それぞれの図において、上段は大気水蒸気量（実線：高度 0-2 km、点線：高度 2-10 km、破線：高度 0-10 km）、下段は雲量・雲タイプ（白：積雲なし、灰色：積雲あり、黒：雄大積雲あり）を表す。雲量・雲タイプの観測は日中のみ行っており、夜間に行っていない。

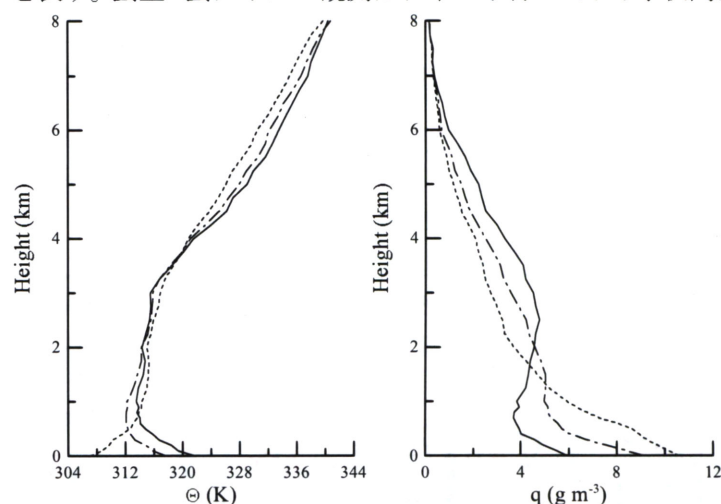


図 4. 2005 年 6 月 19 日に観測された温位（左）と絶対湿度（右）の鉛直分布。高度は観測地からの高さで海拔ではない。各線は 1 分間隔で測定した値を 30 分で平均したもの（点線：7:30-8:00 LST、一点鎖線：11:30-12:00 LST、実線：15:30-16:00 LST）。

参考文献

- 西川将典・檜山哲哉・高橋厚裕・李薇・樋口篤志・福嶋義宏 (2005): 中国・黄土高原南部において混合層発達時に観測された鉛直風の特徴, 黄河合同研究会報告書 (福岡 2005.12.1-3) 総合地球環境学研究所, 84-87.
- Fujita, M., T. Sasaki, and F. Kimura (2006): A dramatic daytime decrease in water vapor over coastal Thailand, *SOLA*, 2, 49-52.
- Takagi, T., F. Kimura, and S. Kono (2000): Diurnal variation of GPS precipitable water at Lhasa in premonsoon and monsoon period, *J. Meteor. Soc. Japan*, 25, 175-180.
- Wu, P., S. Hamada, S. Mori, Yudi I. Tauhid, M. D. Yamanaka, and F. Kimura (2003): Diurnal variation of precipitable water over a mountainous area of Sumatra Island, *J. Appl. Meteor.*, 42, 1107-1115.